

REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

MARACAIBO - VENEZUELA



Una Revista Internacional Arbitrada
que está indizada en las publicaciones
de referencia y comentarios:

- Science Citation Index (SCIEExpanded)
- Compendex
- Chemical Abstracts
- Metal Abstracts
- World Aluminium Abstracts
- Mathematical Reviews
- Petroleum Abstracts
- Zentralblatt Für Mathematik
- Current Mathematical Publications
- MathSci (online database)
- Revencyt
- Materials Information
- Periódica
- Actualidad Iberoamericana

Historical masonry dwellings Maracaibo based Greywacke “eye stone”

Susana Pineda M.¹, Rosa Bustamante ², Nicanor Prendes ³, Isabel Sánchez de Rojas⁴

¹ Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad del Zulia. Apartado Postal 15399. Maracaibo, Venezuela.

E-mail: spmven@hotmail.com

² Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid. Av. Juan de Herrera, 4. 28040 Madrid, España. E-mail: mpe.arquitectura@upm.es

³ CEDEX- Ministerio de Fomento. C/ Antonio López, 81. 28014 Madrid. E mail; nprendes@cedex.es

⁴ Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, C/C/Serrano Galvache, 4. 28033 Madrid. E-mail: srojas@ietcc.csic.es

Abstract

Masonry materials of “eye stone” of homes in the historic center of Maracaibo replacement purposes and conservation are discussed. Petrophysical analysis methodology based on specimens exposed to determine the components and scalar properties by visual inspection; and X-ray diffraction, transmission optical microscopy, porosimetry and ultrasonic measurement and mechanical tests. The results show that the rock formation from “Miracle” is a ferruginous Greywacke, reddish, with abundant porosity (voids) of maldica, fenestral type, and intergranular noticeable to the naked eye and supports the popular name “eye stone”. It presents a low wicking; bulk density of 2889 kg / m³ and a low compression strength that is less than 5 MPa, decreasing considerably wet and conditioned by the loads oriented both parallel and perpendicular to the surface of stratification.

Keywords: eye stone; ferruginous Greywacke; old town of Maracaibo.

Mampostería de las viviendas históricas de Maracaibo en base a la Grauvaca “piedra de ojo”

Resumen

Se analizan los materiales de la mampostería de “piedra de ojo” de las viviendas del casco histórico de Maracaibo con fines de reposición y de conservación. Se expone la metodología del análisis petrofísico a partir de probetas para determinar los componentes y las propiedades escalares, mediante la inspección visual, difracción de rayos X, microscopía óptica de transmisión, porosimetría, así como medición ultrasónica y ensayos mecánicos. Los resultados demuestran que la piedra procedente de la formación “El Milagro”, es una grauvaca ferruginosa, de color rojizo, con abundante porosidad (huecos) de tipo maldico, fenestral, e intergranular apreciable a simple vista y que sustenta la denominación popular de “piedra de ojo”. Presenta una baja succión capilar; densidad aparente de 2.889 kg/m³ y una baja resistencia a compresión, no llega a 5 MPa, disminuyendo considerablemente en húmedo y condicionada por las cargas orientadas, tanto en paralelo o perpendicular a la superficie de estratificación.

Palabras clave: piedra de ojo; grauvaca ferruginosa; casco histórico de Maracaibo.

1. Introducción

Se exponen los resultados de la caracterización de la grauvaca “piedra de ojo”, teniendo en cuenta que constituye el material del cerramiento de las viviendas tradicionalmente históricas de Maracaibo, con muros de mampostería de 0,60 m a 0,80 m de sección, de doble hoja de sillares con piedras de menores dimensiones en el núcleo, usando morteros de

agarre de cal-arena. La disposición de piedras grandes y pequeñas permite una mejor trabazón y aprovechamiento de los mampuestos, con la ayuda inclusive de verdugadas de ladrillo o de tejas en algunas hiladas. La piedra se labraba siguiendo diferentes formatos rectangulares que se adaptaban según su emplazamiento y que se indican a continuación (largo por ancho por grueso): sillares de 40 cm x 30 cm x 20 cm, medios sillares de 60 cm x 30 cm x 20

cm y 40 cm x 30 cm y grueso variable, sillarejos colocados verticalmente de 30 cm x 20 cm x 15 cm, y mampuestos irregulares sin labra de variadas dimensiones. Sin embargo, esta mampostería estaba oculta por la aplicación de los frisos de revestimiento (Figura 1).



Figura 1. Fachada de vivienda con mampostería de la arenisca "piedra de ojo"

2. Metodología experimental en base a probetas y toma de muestras

El estudio petrofísico [1] ha requerido la preparación de probetas prismáticas de 40 mm x 40 mm x 160 mm y cúbicas de 50 mm de arista, para determinar la naturaleza petrológica y mecánica de la piedra de la formación "El Milagro". Se asume la caracterización a partir de consideraciones generales a escala visual, con la obtención de parámetros espaciales (imágenes) para llegar a la extracción de valores escalares (datos), asociados con las peculiaridades específicas de los materiales. En primer lugar se hizo una caracterización de visu, de su estructura macroscópica, y con lupa binocular, inspeccionando el estado general y los aspectos cualitativos del material, tanto de las probetas como de las muestras, en un rango que abarca hasta el umbral inferior a 0,1 mm de acuerdo con los parámetros físico-ópticos que definen las propiedades de la luz. La difracción de rayos X (DRX), que caracteriza la estructura cristalográfica específica de cada fase mineral, se realizó con un difractómetro D8 ADVANCE, fabricado por Bruker AXS, en el Laboratorio de Ciencias de Materiales del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja de Madrid, España (ICC Edo. Torroja). Mientras que el estudio de microscopía óptica se realizó con el equipo de microscopía petrográfica del Departamento de Geología Aplicada y Ambiente del Instituto Nacional de Tecnología Industrial de Argentina (INTI), dotado del Microscopio Axioplan 2, de Zeiss. La porosidad de la piedra se analizó mediante inyección por intrusión de mercurio. La complejidad del procedimiento, reflejado en la norma ASTM D 4404 (ratificada en 1992) [2], estima el volumen y distribución de los poros de los materiales. El equipo

utilizado es AUTOPORE 9505 fabricado por micromeritics, las presiones aplicadas se situaron entre 0,5 y 3300 libras/pulgada², con un ángulo de intrusión de 141,3°, disponible en el ICC Edo. Torroja.

3. Resultados y discusión de la caracterización de la "piedra de ojo"

3.1. Análisis de visu

De la identificación de la roca se colige que los mampuestos procedentes de la formación "El Milagro" son de dos tipos: *areniscas lutíticas ferruginosas* y *conglomerado silíceo polimíctico*. De las areniscas, cabe destacar su color rojizo que evidencia una matriz ferruginosa (condiciones reductoras de formación), donde la abundante porosidad ayuda a "lixiviar" estos óxidos y favorecer este tipo de tinciones asociadas a porosidades de tipo fenestral, móldico e intergranular. Estas cavidades, donde se produce condensación y variaciones de temperatura, son apreciables a simple vista y sustenta la denominación popular de "*piedra de ojo*". Los huecos asociados a redisoluciones parciales, no necesitan estar interconectados debido a que son producto de alteraciones químicas, lo que genera la formación de "bolsas" aisladas o independientes que dificultan la posibilidad de transmisión del agua a través del material, aunque no su retención sobre la superficie. Este fenómeno en principio y desde la perspectiva de las propiedades hídricas es sumamente interesante, ya que minimiza el efecto de la succión capilar (rompe la comunicación debido a tamaños de poros muy pequeños y evita los efectos de la subpresión y el ascenso de los líquidos, en los que predomina la componente gravitacional), "protegiendo" con ello al material de los procesos cíclicos de humectación-secado a los que puede estar sometida la piedra una vez colocada. Se observa, además, una acusada orientación de los cantos rodados (desarrollo de anisotropía o direcciones preferenciales) debido a que son heterométricos, compactos y coherentes (duros o resistentes en sentido estrictamente geotécnico). Estas características geométricas hacen que se desarrolle mayor resistencia a compresión en la dirección perpendicular al plano de estratificación, donde los cantos están imbricados ya que, puede demostrarse, son los que mayor energía disipan (efecto naípe), por lo que las piezas deben colocarse en los paramentos de esta manera. Desde un punto de vista general se ha observado la presencia de anillos de Liesegang que son estructuras concéntricas de alteración, con disposición en bandas o anillos que irradian a partir de un punto y precipitan por saturación de cationes de Fe³⁺, con reacciones químicas asociadas que evidencian la composición y la extrema facilidad de movilización catiónica dentro de la roca que los contiene, en función del pH (Figura 2).

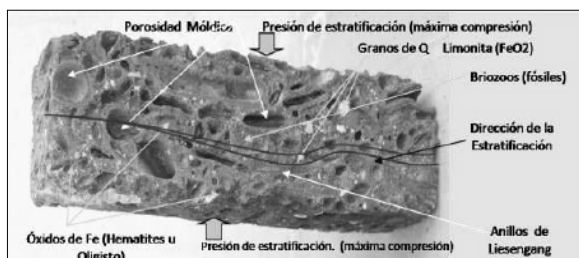


Figura 2. Estructura sedimentaria y composición petrológica

Los conglomerados, fracción de tamaño de grano superior a los 2 mm, de acuerdo con la ASTM C 294-86 [3], denota una morfología redondeada y bien gradada, compactada con un matriz cementante de la misma naturaleza petrológica (areniscas lutíticas) que la roca anterior; son de tipo silíceos, con el cuarzo como fase mineralógica predominante y otras fases constituyentes (cuarzo, feldespatos, micas, etc.). Señalar, por último, que por su variedad y diversidad mineralógica, la roca queda asignada como un material sedimentario consolidado, cuya estructura predominante es debida a las condiciones sedimentarias de la zona. Como resultado la roca incluye óxidos, hidróxidos y cementos constituyentes, además de las trazas de materia orgánica existentes.

3. 2. Difracción de rayos X (DRX)

Su estudio y análisis para la “Piedra de ojo” (la altura de pico o altura de reflexión del difratograma) confirma que las principales fases mineralógicas corresponden al cuarzo (SiO_2), goethita (Fe O (OH)) y micas de tipo biotita ($\text{K(Fe, Mg)}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) básicamente (Figura 3). Estudios complementarios de otros materiales similares dan difractogramas prácticamente similares detectándose algunos minerales “nuevos” de óxidos e hidróxidos de hierro y de los que se destacaría la lepidocrocita.

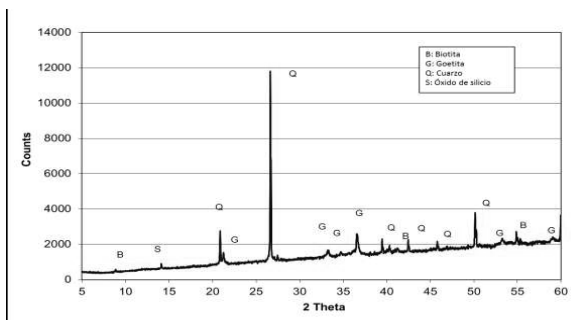


Figura 3. Difractograma de la Piedra de Ojo.

Por otro lado, se infiere la ausencia de minerales arcillosos expansivos o compuestos ceolíticos, lo que –

desde esta perspectiva– asegura que no se generarán procesos de expansión ni absorción de agua que puedan comprometer la capacidad portante y resistencia de la piedra (su durabilidad). El cuarzo es fase mayoritaria, también hay feldespatos que en este estudio se consideran de minerales inertes, y compuestos de hierro. Entre ellos destaca la lepidocrocita, hidróxido de hierro secundario ($\text{Fe}^{3+}\text{O(OH)}$), cuya génesis se asocia a zonas de meteorización de la goethita, también presente, y que justifica la enorme movilidad del catión del Fe^{2+} ó Fe^{3+} , lo que explica las tinciones rojizas o amarillentas que se han encontrado en algunas fachadas (Figura 4).

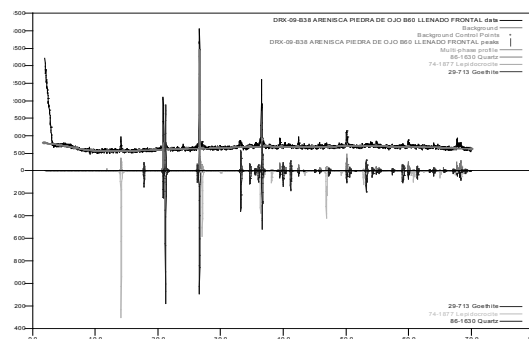


Figura 4. DRX y fases cristalinas identificadas

La calcita detectada procedería de los procesos de diagénesis de los restos fósiles. Así mismo, los procesos de silicificación detectados, hacen que el pico del cuarzo sea más acusado, ya que tiene doble procedencia (detriticos por procesos de denudación de la cuenca y de silicificación secundaria), la calcita aparece como matriz, lo que da una enorme irregularidad a determinados tipos de muestras, pero asegurando su compacidad. Los datos generales confirman la naturaleza predominante de la arenisca lutítica ferruginosa. La presencia de calcita, a pesar de la relativa importancia de su altura de pico en algunos difractogramas, no alcanza en la totalidad de la muestra el 4 % del análisis modal y no se considera fase primaria, se relaciona con la diagénesis y consolidación secundaria.

3.3. Microscopía óptica de transmisión

La observación con luz polarizada identifica como fase predominante de los granos, al cuarzo. Los granos de cuarzo tienen tamaños muy similares, ligeramente alterados en su morfología original, generando grupos que están compactados por materia orgánica y concreciones de minerales opacos. Así mismo, se han encontrado minerales filosilicatados (cloritas y biotitas, todos ellos de aspecto laminar) y algún cristal de olivino (de color verdoso y textura acusada). El desglose de estas fases minerales es el siguiente. El cuarzo aparece en granos sueltos con contactos tangenciales dentro de la matriz, y en agregados policristalinos con textura criptocristalina, denominados también como cuarzoesacaroideos. Su

porcentaje se estima entre 82 y 86 % (Figura 5). Los feldespatos constituyen cuantitativamente la siguiente fase mineralógica en importancia. Se identifican plagioclasas alcalinas, con un débil maclado polisintético de tipo oligoclasas (por su composición catiónica, de acuerdo con su contenido en Na-Ca), pasando a albitas (extremo más sódico) y anortitas (extremo más cálcico). Sus granos dan formas subidiomórficas, con disoluciones parciales en sus bordes e interior, con zonas alteradas,

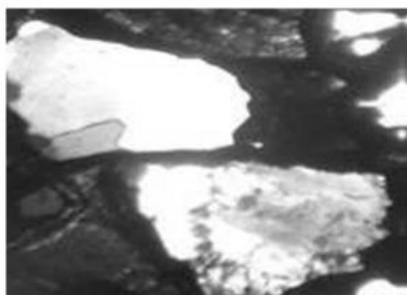


Figura 5. Cuarzo.



Figura 6. Feldespatos.



Figura 7. Fragmentos de rocas

Como minerales accesorios, y secundarios, se encuentra las arcillas, cloritas y olivinos (cuyo porcentaje no excede nunca el 3%). Su presencia se vincula a alteraciones superficiales que generan, o están generando, procesos de maduración textural, aún incipiente. Asimismo, en la matriz se han detectado minerales de óxidos de hierro, en diferentes fases y estadios y es difícil establecer su especie con esta técnica, debido sobre todo a su tamaño. El tamaño de grano, observado en las láminas delgadas varía desde

los 0,4 mm hasta los 5 mm, con contactos tangenciales o flotantes, y la distribución de las fases desarrolla un evidente patrón homogéneo a esta microescala. Partiendo de esta información, deducida de las imágenes petrográficas, y usando los criterios de clasificación de las rocas, en relación a los aspectos cuantitativos anteriormente expuestos, se indica su clasificación petrográfica en un diagrama triangular (Figura 8).

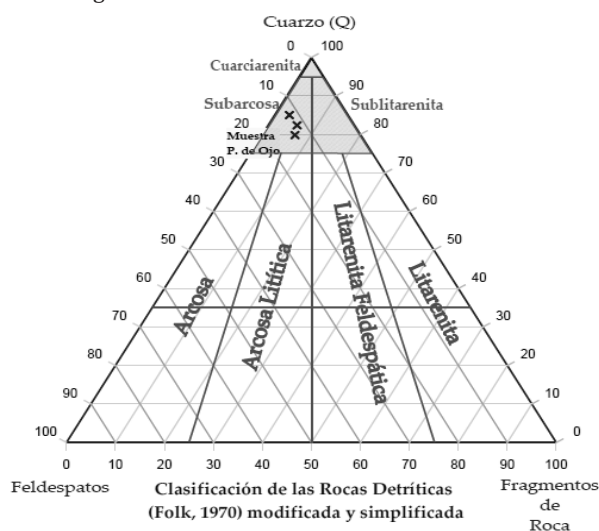


Figura 8. Situación de la “piedra de ojo” en el diagrama de Folk.

El campo sobre el que caen los porcentajes de las fases por su proyección en el diagrama, indica que la roca es una subarcosa [4] o a una grauvaca feldespática (ASTM C 294-86). Sin embargo, de acuerdo con la importancia que tiene en la geología local como subsuelo de la ciudad y su

posible utilidad como material de edificación, se acepta el término arenisca lutítica ferruginosa, sabiendo que es una denominación propia del Pleistoceno local de Venezuela, y sólo así debe considerarse. A modo de resumen, es una formación detrítica compuesta por

conglomerados silíceos polimícticos, con gradación positiva, donde la fracción más fina estaría compuesta por grauvaca lutíticas ferruginosas (subarcosa o grauvacas feldespáticas), alcanzando las lutitas a techo. Para una identificación petrográfica homogénea, siguiendo la “American Society Test Methods” se debería

sustituir el término de Arenisca lutítica ferruginosa por Grauvaca ferruginosa (la ASTM C 294 - 86) [3].

3.4. Porosimetría

De su análisis y estudio por inyección de Hg [5] se resumen los datos que figuran en la (Tabla 1.)

Tabla 1
Características porométricas

Diámetro de poro medio	Área total de poros	Densidad aparente	Porosidad
0,014 mm	2,693 m ² /g	2,887 g/ml	21,51 %

Un aspecto importante es definir y relacionar el espacio poroso con el medio, en este caso la roca, que lo incluye. Si el espacio poroso se relaciona con el grado de empaquetamiento o cementación del material, es inherente a la naturaleza de la roca, mientras que si es consecuencia de procesos de lixiviación, disrupción tensional o fatiga del material, está condicionado por las condiciones externas (ambientales) y, por lo tanto, es aleatorio. En el primer caso,

el tipo de porosidad que se desarrollará será de tipo abierto o comunicada, en el segundo responderá a criterios de formación mineralógica (alterabilidad y resistencia de los materiales), siendo predominante una porosidad asilada o incomunicada, el menos en su porcentaje predominante. El histograma define la cantidad de poros para cada fracción de radio de acceso (Figura 9).

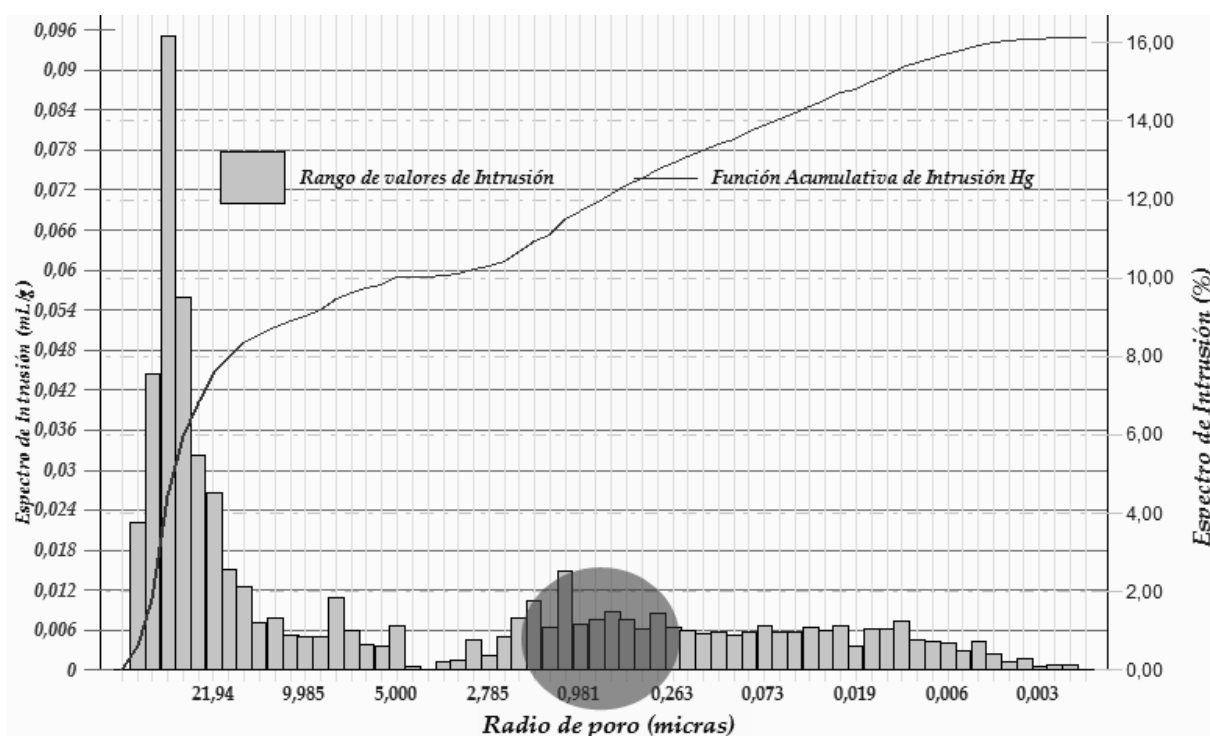


Figura 9. Curva de distribución de radio de acceso de poros

3.5. Determinación de la succión capilar

Este fenómeno es trascendental para las piezas situadas en las partes bajas de las edificaciones ya que puede provocar humedades por ascensión capilar. La presencia de una red microcapilar verifica que el ascenso que se produce en este rango de microporos es inversamente proporcional al tamaño de acceso de los mismos y depende, por otra

parte, por la humedad relativa y el grado de saturación del terreno o subsuelo. En este ensayo la anisotropía del sillar sí condiciona los resultados (ya que la capilaridad está condicionada por el efecto de succión debido a subpresiones de los conductos de los microporos). Los datos del histograma señalan que el efecto de la capilaridad no es importante (la composición granulométrica y cementante de la roca impide la conexión de la red microcapilar),

generando bolsas de poros que impiden el efecto succión. La disposición de la estratificación tiene, en este fenómeno, una importancia determinante. El estudio de este fenómeno, durante 30 minutos (Figuras 10 y 11), señala que el coeficiente de capilaridad es notablemente menor cuando la estratificación de la roca o sillar es paralelo a la superficie de inmersión, $0,056 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$. La variación {masa de

agua} por unidad de superficie evidencia una absorción, en esta circunstancia, muy lenta, que se mantiene a lo largo de todo el ensayo, pudiendo interpretarse como un sistema en el que los microporos no están muy bien desarrollados y conectados, produciéndose una dispersión del agua sobre los planos de estratificación.

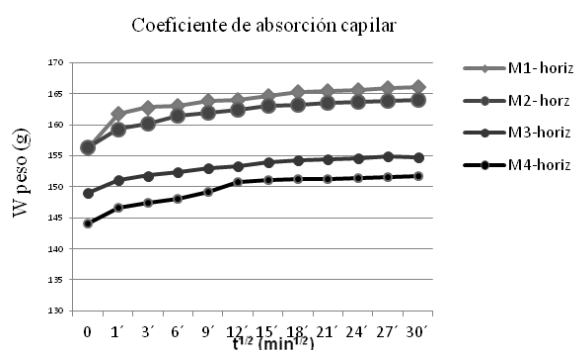


Figura 10. Succión capilar paralela.

Cuando se modifica la probeta (estratificación perpendicular al plano de la lámina de agua), el ascenso capilar es mucho más rápido ($0,427 \text{ g/cm}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$, saturándose más deprisa el sillar.

3.6. Comportamiento mecánico

Se realizó sobre diez probetas con humedad ambiental, con la dirección de la estratificación dispuesta paralela y perpendicularmente a la dirección del esfuerzo. En la

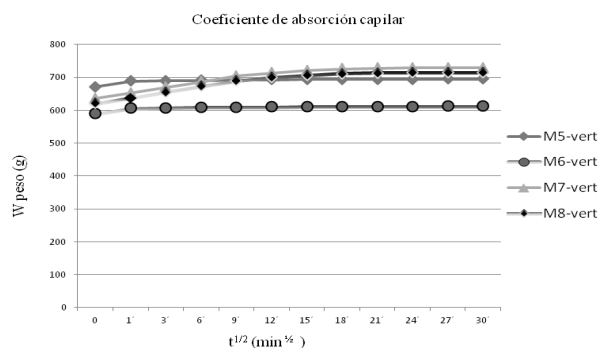


Figura 11. Succión capilar parpendicular.

figura 12 se indican los máximos valores obtenidos para las resistencias a compresión. El resultado medido en las probetas cuya estratificación es paralela a la dirección del plano de esfuerzo, en estado seco, es de 4,42 MPa, mientras que en sentido perpendicular ascendió hasta los 4,64 MPa. Repetido el ensayo en ambiente húmedo, en el sentido paralelo a estratificación el resultado fue de 2,09 MPa y perpendicular de 2,29 MPa, lo cual justifica la colocación del sillar, piedra o mampuesto con un friso de protección para evitar el ingreso de agua y su correspondiente saturación.

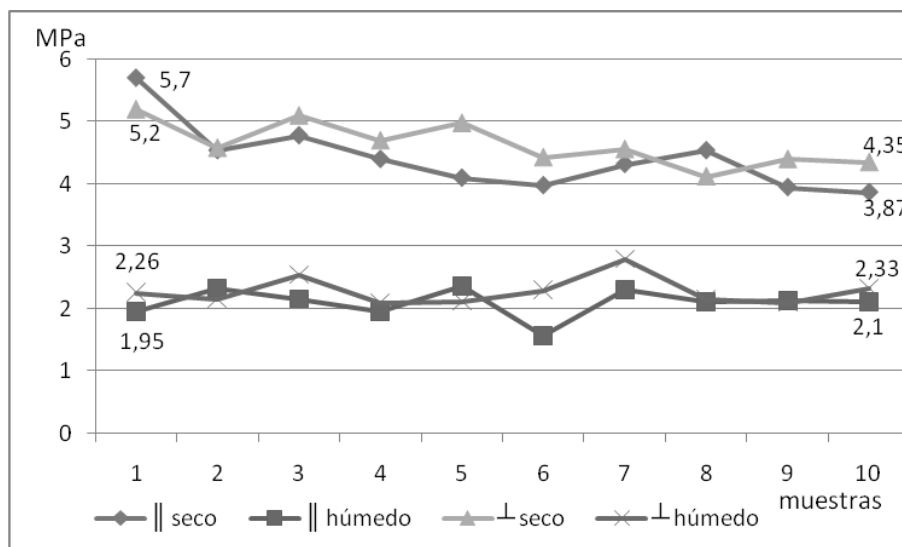


Figura 12. Resultados del ensayo de resistencia a compresión

El estudio de estos valores indica que la presencia de agua (en las probetas sometidas a carga) modifica notablemente el comportamiento a compresión de los

materiales, disminuyendo su resistencia. Asimismo, la resistencia aumenta cuando la estratificación de la roca, es perpendicular a la dirección de la carga aplicada (por el

efecto naípe), lo que sugiere su uso en esta orientación, si es que va a utilizarse como material portante, consolidando con ello los planos de la propia estratificación interna del sillar. Esto, en cambio, no se produciría si el plano de carga fuese paralelo a la dirección de la estratificación (efecto de despegue), abriéndose el sillar por estas superficies de lineación que, en este caso y para esta distribución de esfuerzos, actuarían como planos de debilidad estructural. Esto determina el modo y manera en la colocación de las piezas en el arranque de los muros, siendo preferible en el sentido de la estratificación natural y también en la secuencia granopositiva hacia la base, es decir la distribución granulométrica con los cantos en la base (donde obviamente se van a desarrollar menos espacios intercapilares) y los materiales finos hacia el techo de la pieza de mampostería, evitando de esta forma la ascensión capilar y la porosidad asociada que puede verse afectada por los niveles freáticos del suelo.

3.7. Ensayos por ultrasonidos

Con los datos de velocidad obtenidos al hacer pasar ultrasonidos a través del material se obtiene el comportamiento que producen los huecos, así como las posibles zonas alteradas, debido al retardo de la velocidad del sonido en los poros o en la posible presencia de grietas internas o microfisuras. Este ensayo se realizó sobre seis probetas y dio como resultado una velocidad media de 3270 m/s si se tiene en cuenta que la densidad aparente obtenida es de 2.888 g/cm³, el módulo de elasticidad dinámico de la arenisca “piedra de ojo” daría unos 2,73 GPa. Este módulo es bajo así como la resistencia a compresión, por lo que el revestimiento no debe superarlos, siendo incompatibles los morteros de cemento Portland por su mayor rigidez y resistencia mecánica, pero son adecuados los morteros de cal, cuyas características geomecánicas están más próximas a estos valores deducidos por ultrasonidos.

4. Conclusiones

1. Los resultados obtenidos permiten establecer una metodología para caracterizar la arenisca “piedra de ojo”, utilizada en los cerramientos de las viviendas tradicionales de Maracaibo, que aporta las características de ejecución y diseño de estos materiales para aumentar su durabilidad y minimizar los efectos que la humedad o las cargas portantes puede provocar en sus paramentos y estructuras, con lo que se garantiza una mejor respuesta en conservación y mantenimiento del patrimonio histórico inmueble.
2. La “piedra de ojo” proviene de una formación detrítica compuesta por conglomerados silíceos polimícticos, con gradación positiva (lutitas a techo de la formación y de los estratos), y en los que la fracción más fina estaría compuesta por areniscas lutíticas ferruginosas (subarcosa) o grauvacas ferruginosas. La presencia de minerales

de hierro, bien como óxidos o hidróxidos, provoca la movilización de este catión que tiende a teñir las superficies libres y expuestas (paramentos), y cuyo efecto es puramente estético, sin afectar, significativamente, a los parámetros microestructurales (empaquetado granular, porosidad o red capilar), si bien se produce una modificación cromática evidente, por ello la piedra debe ser protegida con un mortero a base de cal.

3. La “piedra de ojo” tiene una densidad aparente de 2,89 g/cm³ y una resistencia a compresión menor de 5 MPa en estado seco, aplicando la carga en sentido perpendicular a la estratificación de la roca (4,64 MPa), que se reduce 5 % en sentido paralelo a la misma (4,42 MPa); pero la reducción de su resistencia es notable, aproximadamente 47 %, de 2,29 MPa a 2,09 MPa, si la carga es aplicada en húmedo, en sentido perpendicular y paralelo a la estratificación respectivamente.
4. Su porosidad del 21,51 % en el ensayo de porosimetría, tiene un comportamiento funcional muy dispar en relación con su orientación. Así se ha comprobado que la absorción de agua por capilaridad es menor en sentido paralelo a la estratificación, 0,056 g/cm².min^{0,5}, mientras que si es perpendicular, se produce un incremento, siendo el coeficiente obtenido de 0,427 g/cm².min^{0,5}. Ambos resultados, de acuerdo con la teoría de la capilaridad y la difusión de líquidos a través de medios porosos, determinan la colocación y orientación de las piezas en el arranque de los muros.

Agradecimientos

Al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil, al laboratorio de Materiales de la Escuela de Ingeniería Civil, al Instituto de Superficies y Catálisis de la Facultad de Ingeniería y a la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad del Zulia. Al Laboratorio de materiales de la Politécnica de Madrid, Escuela de Arquitectura (UPM). Al CEDEX- Ministerio de Fomento de España y al Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción. (IETTC, de Madrid, España)

Referencias

1. Esbert, R., La petrofísica y su aplicación a los estudios de la patología de la piedra, Tratado de Rehabilitación, ed. Munilla-Lería, Madrid. Vol. 3, (1998) 141-153.
2. ASTM D4404-84(2004), Standard Test Method for Determination of Pore Volume and Pore Volume

- Distribution of Soil and Rock by Mercury Intrusion Porosimetry, 2004, www.astm.org.
- 3 ASTM Designation: C 294 - 86. Standard Descriptive Nomenclature for Constituents of natural Mineral Aggregates. Pgs 167-173. 1986 nov. www.astm.org
- 4 Folk, R., Petrology of Sedimentary Rock, ed. Hemphill's, Austin. (1968)
- 5 Pineda S., Bustamante R, Prendes, N., Ferruginous Shales Lutitic Sandstone (Eyestone) Masonry of Traditional Building in Maracaibo, Venezuela, Actas Structural Analysis of Historical Constructions, 874-882, Wroclaw, Polonia. (2012).

Recibido el 10 de Noviembre de 2014

En forma revisada el 29 de Septiembre de 2015



REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

Vol. 38. N°3 2015 _____

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada
en diciembre de 2015, por el **Fondo Editorial Serbiluz**,
Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela*

**www.luz.edu.ve
www.serbi.luz.edu.ve
produccioncientifica.luz.edu.ve**